

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh ručního zařízení pro děrování plechových profilů

**Proposal for hand equipment for punching sheet metal
profiles**

Student: David Onderka
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Kubín

Ostrava 2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Návrh ručního zařízení pro děrování plechových profilů

The Design of a Hand-held Machinery for Iron-plate Profiles Perforating

Student:	David Onderka
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	20 Výrobní stroje a zařízení
Pracoviště:	Katedra výrobních strojů a konstruování – 340

Zásady pro zpracování:

Navrhněte zařízení, pomocí kterého bude možné dělat oválné otvory do plechového U-profilu. Zařízení bude ovládáno pouze ruční silou. Osa otvoru bude v ose profilu.

1. Průzkum a rozbor zařízení používaných při děrování.
2. Ideově technický návrh možných řešení.
3. Proved'te konstrukční řešení zvolené varianty.
4. Proved'te pevnostní kontrolu namáhaných součástí.
5. Zpracujte podrobný sestavný výkres včetně kusovníku a výrobní výkresy speciálních dílů (rozsah s ohledem na zadání bakalářské práce).

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: min. 30 stran textu mimo přílohy.

Výkresová dokumentace v minimálním rozsahu A0.

Seznam doporučené literatury:

- KALÁB, K.: *Cásti a mechanismy stroju pro bakaláře: Cásti spojovací*. 1.vyd. VŠB-Technická universita Ostrava, 2007, 91s. Dotisk 1.vyd. 2008, ISBN 978-80-248-1290-8.
- KALÁB, K.: *Cásti a mechanismy stroju pro bakaláře: Cásti pohonu stroju*. 1.vyd. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1860-3.
- DEJL, Z.: *Konstrukce stroju a zařízení I. Spojovací cásti stroju. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanexa.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3.
- MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílu*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1.
- NEMCEK, M.: *Rešené příklady z CaMS Spoje*. 2.vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8
- LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1.vyd. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2.

Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Tomáš Kubín
Datum zadání bakalářské práce:	10. listopadu 2008
Akademický rok:	2008/2009



Kovář

.....
doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

Farana

.....
prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan

V Ostravě dne 10. listopadu 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ONDERKA, D. Návrh ručního zařízení pro děrování plechových profilů: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2009, 46 s. Vedoucí práce: Kubín, T.

Podstatou této bakalářské práce je navrhnout zařízení na děrování profilu. Profil s obsaženou dírou je zadán v požadavcích na zařízení. Celá práce je rozdělena do sedmi částí. V úvodu je seznámení pro jaký účel je zařízení navrženo. V další kapitole jsou uvedeny zařízení s výrobci, která se dají použít pro moje řešení. V technickém návrhu hledám, dle mých zkušeností, nejlepší možné řešení pro splnění daných požadavků. V další kapitole daný technický návrh detailně konstrukčně řeším. Ve výpočtu jsou vybrané dílce dimenzovány nebo ověřuji možné namáhání. V závěru bakalářské práce je hodnocení celého zařízení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ONDEKA, D. The design of a Hand-held Machinery for Iron-plate Profiles Perforating: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production machines and construction, 2009, 46 p. Thesis head: Kubín, T.

The merits of the thesis is to draft a device for perforation of cross-section piece. The cross-section piece with a hole inside is included in requirements for the device. The thesis is divided into seven chapters. Brief introduction about the purpose for which the device is developed is described at the first chapter. In the following chapter there are mentioned devices with producers, which can use my solution. In the technical draft I am looking for, according to my experience, the best possible solution to fully meet the defined requirements. The technical draft is then constructionally solved in details on the next chapters. Calculation of chosen parts is dimensioned or verified following the possible load. The evaluation of complete device is executed at the end of the thesis.

Obsah bakalářské práce

1.	Úvod.....	12
2.	Průzkum a rozbor zařízení používaných při střihání	12
3.	Ideově technický návrh možných řešení.....	17
3.1	Vyjasnění a rozpracování požadavků	17
3.2	Stanovení funkční struktury	19
3.2.1	Obecná forma blokového schéma technického procesu	19
3.2.2	Obecná forma blokového schéma funkční struktury	20
3.3	Stanovení orgánové struktury	21
3.3.1	Stanovení morfologické matice	21
3.3.2	Hodnocení jednotlivých možností	23
3.4	Stanovení hrubé stavební struktury.....	28
3.5	Stanovení úplné stavební struktury	28
3.6	Detailování úplné stavební struktury	28
4.	Provedení konstrukčního řešení.....	29
4.1	Uložení páky na pastorku	29
4.2	Řešení převodového mechanismu	30
4.3	Uložení střižné části.....	31
4.4	Řešení skeletu	32
4.5	Doplňky	33
5.	Provedení pevnostní kontroly namáhaných součástí	34
5.1	Dimenzování páky	34
5.1.1	Přenášený krouticí moment pomocí páky.....	34
5.1.2	Stanovení průměru páky	35
5.2	Ozubený převod.....	36
5.2.1	Stanovení roztečné kružnice pastorku	36
5.2.2	Stanovení odhadovaného modulu	37
5.2.3	Hlavní geometrické veličiny ozubeného soukolí.....	38
5.2.4	Silové poměry	39
5.2.5	Zjednodušený kontrolní výpočet únavy v dotyku	39

5.2.6	Zjednodušený kontrolní výpočet trvalé deformace nebo křehkého lomu povrchové vrstvy boku zubu jednorázovým působením největšího zatížení	41
5.2.7	Zjednodušený kontrolní výpočet únavy v ohybu.....	42
5.2.8	Zjednodušený kontrolní výpočet trvalé deformace či vzniku počátečních trhlin v oblasti paty zubu, nebo křehkého lomu zubu jednorázovým působením největšího zatížení.....	43
5.3	Stříhání.....	44
5.3.1	Stanovení střížné síly	44
5.3.2	Stanovení střížné vůle	45
6.	Zpracování sestavného výkresu včetně kusovníku a výrobních výkresu	45
7.	Použitá literatura	46

Seznam použitého značení

Tab. 1. Přehled značek

Značka	Název	Jednotka
F	síla lidské paže	N
F_{\max}	střížná maximální síla	N
F_{skl}	střížná síla pro stříh skloněným nožem	N
F_t	obvodová síla působící v čelním řezu na roztečné kružnici	N
F_{t1}	obvodová síla působící v čelním řezu na roztečné kružnici, odpovídající 1. stupni zatížení	N
F_r	radiální síla	N
K_A	součinitel vnějších dynamických sil	–
K_{AS}	součinitel vnějších dynamických sil pro výpočet s ohledem na trvalou deformaci, vznik trhliny nebo křehkého lomu z jednorázového přetížení	–
K_F	součinitel přídavných zatížení (pro výpočet na ohyb)	–
K_{Fv}	součinitel vnitřních dynamických sil (pro výpočet na ohyb)	–
$K_{F\alpha}$	součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů (pro výpočet na ohyb)	–
$K_{F\beta}$	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce (pro výpočet na ohyb)	–
K_H	součinitel přídavných zatížení (pro výpočet na dotyk)	–
K_{Hv}	součinitel vnitřních dynamických sil (pro výpočet na dotyk)	–
$K_{H\alpha}$	součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů	–
$K_{H\beta}$	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce	–
L	délka stříhu	mm
L_P	rameno (délka) páky	m
M_K	krouticí moment na pastorku	N.m
R_e	mez kluzu materiálu	MPa
R_m	mez pevnosti materiálu	MPa
R_{ms}	pevnost ve stříhu materiálu;	MPa

Značka	Název	Jednotka
S	střižná plocha	mm ²
S _{Fmin}	nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubů	–
S _{Hmin}	nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového poškození boků zubů	–
V _{HV}	tvrdost povrchu (boku) zubu	HV
Y _{FS}	součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí	–
Y _β	součinitel sklonu zubu	–
Y _ε	součinitel vlivu záběru profilu (pro výpočet na ohyb)	–
Z _E	součinitel mechanických vlastností materiálu	–
Z _H	součinitel tvaru spoluzabírajících zubů	–
Z _R	součinitel výchozí drsnosti boků zubů (před záběhem)	–
Z _ε	součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů	–
b _{wF}	pracovní (aktivní) šířka ozubení pro výpočet na ohyb	mm
b _{wH}	pracovní (aktivní) šířka ozubení pro výpočet na dotyk	mm
c	koeficient závislý na druhu stříhání	–
d _{b1}	průměr základní kružnice pastorku	mm
d ₁	průměr roztečné kružnice pastorku	mm
f _F	pomocný součinitel pro výpočet modulu ozubení	–
f _H	pomocný součinitel pro výpočet roztečné kružnice pastorku	–
k	součinitel, zahrnující různé vlivy zvyšující střižnou sílu	–
k _S	součinitel statické bezpečnosti	–
m _n	normální modul	mm
s	tloušťka stříhaného plechu	mm
u	převodové číslo ozubeného převodu	–
z ₁	počet zubů pastorku	–
σ _F	ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu	MPa
σ _{F lim}	mez únavy v ohybu odpovídající bazovému počtu zatěžovacích cyklů	MPa

Značka	Název	Jednotka
$\sigma_{F_{\max}}$	největší místní ohybové napětí v patě zuby, vzniklé působením síly F_{t1}	MPa
σ_{FP}	přípustné napětí v ohybu	MPa
$\sigma_{FP_{\max}}$	přípustné napětí v ohybu při největším zatížení (sílu F_{t1})	MPa
σ_{FSt}	pevnost v ohybu při největším zatížení	MPa
σ_H	napětí v dotyku (Hertzův tlak) ve valivém bodě	MPa
$\sigma_{H \lim}$	mez únavy v dotyku odpovídající základovému počtu zatěžovacích cyklů	MPa
$\sigma_{H_{\max}}$	největší napětí v dotyku vzniklé působením síly F_{t1}	MPa
σ_{HO}	napětí v dotyku při ideálním zatížení přesných zubů	MPa
σ_{HP}	přípustné napětí v dotyku (přípustný Hertzův tlak)	MPa
$\sigma_{HP_{\max}}$	přípustné napětí v dotyku při největším zatížení (sílu F_{t1})	MPa
σ_{oD}	dovolené napětí v ohybu	MPa

1. Úvod

Stříhání představuje jednu z nejrozšířenějších operací ve strojírenské výrobě. Střížné operace se používají pro oddělování materiálu při výrobě strojních součástí z plechu. Pod pojem stříhání se zahrnuje postupné nebo současné oddělování materiálu ve stříhacích nástrojích podél předem stanovené křivky stříhu.

Úkolem této práce je navrhnout mobilní zařízení, které bude možno rychle použít při montáži ocelových konstrukcí z plechového U-profilu. Zařízení bude pracovat pouze v případě oprav a úprav na konstrukci

2. Průzkum a rozbor zařízení používaných při stříhání

Firma INTESO TRADE s.r.o. je specialistou na dodávky děrovaných profilů, výrobu strojů pro prostřihování profilů a trubek bez nežádoucí deformace vstupního materiálu, jednotku na rádiusové zastřihávání konců trubek, výrobu jednoúčelových strojů a zařízení, a automatických výrobních linek.

Dokáží děrovat jak uzavřené tak i otevřené profily. Vše na přání zákazníka v délce až do 7 000 mm. Rozteče otvorů i jejich tvary, jsou variabilní dle potřeb zákazníka.



Obr. 2.1 Ukázka děrovaných profilů

Mimo dodávek děrovaných profilů a trubek nabízí INTESO 3 základní řady strojů. Stroje s označením řady S2 jsou určeny k děrování v automatizovaném režimu. CNC systém umožňuje naprogramovat požadované rozteče děr. Samotný stříh je vykonán pomocí hydraulické soustavy. Posun materiálu zajišťuje rotační elektromotor. Řada S3 je vybavena lineárním elektromotorem. Ten zajišťuje vysokou rychlost i přesnost. Kapacita prostřihávání je 1 – 1,1 sekundy na jeden otvor včetně přesunu na další pozici. Veškerý pohyb navíc monitoruje lineárním odměřováním.



Obr. 2.2 Stroj řady S3

Pro menší investice je zde řada S1 s ručním posuvem a manuálním ovládáním.



Obr. 2.3 Stroj řady S1

Způsob uchycení profilu a konstrukce nástroje dovoluje děrování od začátku do konce profilu, včetně přesahu. Nevzniká tudíž žádný neproduktivní odpad. Dalším důležitým prvkem je možnost děrování jedné strany nebo dvou protějších stran profilu a to současně. U dvoustranného děrování dochází k výrazné úspoře času.

Firma DK machinery a.s. prodává na trh tvářecí a obráběcí stroje. Mezi ně patří ohraňovací lisy, tabulové nůžky, zakružovačky, děrovací lisy, laserová centra atd. Děrovací lisy s hydraulickým nebo servoelektrickým pohonem, s rámovou konstrukcí ve tvaru O a revolverovou nástrojovou hlavou, kde systém otáčí děrovacím nástrojem a maticí přesně v jejich nástrojových držácích pomocí AC-servomotoru. Přesně ovládaná síla ve všech pracovních místech umožňuje bezpečné a přesné seřízení pracovních nástrojů a pozic. Koncové spínače kontrolují délku posuvu pro všechny stanice. Centrální automatické mazání je jedním z důvodů nízkých požadavků na údržbu. Stroje se dvěma válci mají dva nezávislé hydraulické válce, což umožňuje pracovat současně na dvou pracovištích.



Obr. 2.4 Universální děrovací lis

Společnost GEKA zastoupena na českém trhu firmou N.KO s.r.o. nabízí automatickou linku ALPS 150. Zařízení pro značení, děrování, stříhání úhelníků, U profilů a ploché oceli, číslicově řízené a programovatelné prostřednictvím PC. Efektivita linky je založena na použití vysoce kvalitních komponentů s minimálním počtem pohyblivých dílů. Dovoluje nabízet stroj s mimořádnou produktivitou a spolehlivostí.



Obr. 2.5 Děrovací hlava

Profil je podáván skrz stroj prostřednictvím dvou sad synchronizovaných kladek řízených CNC systémem s odečítáním. Rychlost posuvu je nastavitelná. Podávání profilu probíhá pouze v jednom směru. Řídící jednotka si může zvolit z pěti různých raznic. Děrovací síla je maximálně 80 tun. Možnost seřízení zdvihu pomocí koncových spínačů.

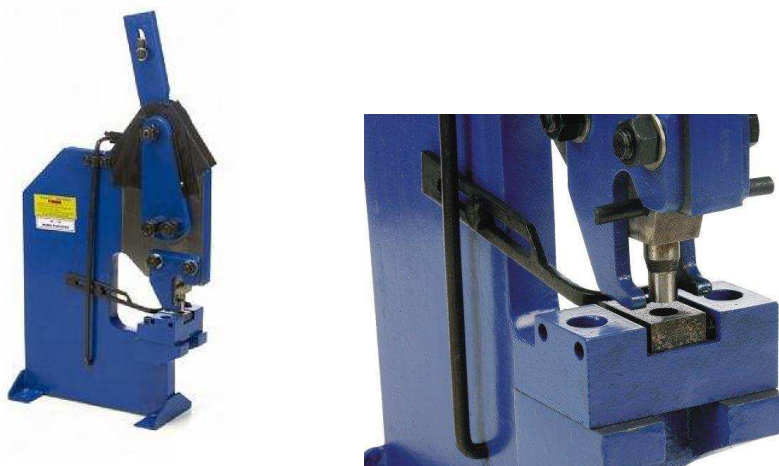


Obr. 2.6 ALPS 150

Doposud jsem uvedl několik zařízení, které se zabývají děrováním profilu. Z hlediska splnění požadavků zařízení zcela vyhovují. Dále je třeba uvážit ekonomickou stránku o návratnosti investice a za jakých podmínek. Níže uvedu několik možných levnějších zařízení. Pro splnění požadavku se budou zařízení dále upravovat.

Firma uni-max.cz nabízí ruční postřihovačku HP10. Ruční děrovačka je vhodná k produktivní výrobě otvorů v plechu z oceli s nízkým obsahem uhlíku, mědi, hliníku, plastech ve středně velkých a malých dílnách a k domácímu použití. Stroj pomocí páky a převodu vyvine střížnou sílu až 20 tun.

Pro splnění požadavku se zařízení upraví stříhací část o požadovaný prostřih. Dále vedení se přizpůsobí na požadovaný profil.



Obr. 2.7 Ruční prostřihovačka HP10

Společnost PRAMARK s.r.o. dodává na český trh hřebenový a pákový lis EBM. Tyto obzvláště robustní modely jsou nejčastěji používány pro montážní operace, spojování, malého obrubování, zasazování atd.



Obr. 2.8 Hřebenový lis 4HR



Obr. 2.9 Pákový lis 20HR

Hřebenový lis 4HR vyvine razící sílu až 600 kg. Lineární tlak je konstantní po celou dobu zdvihu, v závislosti na vyvinuté síle. Pákový lis 20HR LP vyvine maximální razící sílu 2 tuny. Maximální síla je dosažena na konci zdvihu.

Těmto zařízením pro splnění požadavku chybí úplně stříhací část.

3. Ideově technický návrh možných řešení

V této kapitole se budu zabývat metodikou konstruování [1]. Při řešení vycházím dle svých zkušeností a znalostí.

3.1 Vyjasnění a rozpracování požadavků

Pro upřesnění požadavků vycházím ze zadání bakalářské práce. Zadání je dále nutné doplnit, údaje možno kvantifikovat a požadavky uspořádat podle tříd vlastností technických systémů.

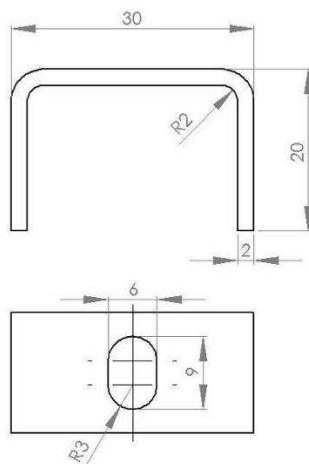
Specifikace požadavku

Funkce, účinky:

- Stříhání profilu daným prostřihem
- Stříhání profilu v jakékoliv vzdálenosti
- Ovládání pouze ruční silou

Funkční parametry:

- Tvar: profil otevřený průřezu U rovnoramenný ČSN EN 10162
- Rozměr: U 30x20x2
- Materiál: 11 375 (1.0038)
- Poloha a rozměr stříhu (obr. 3.1)



Obr. 3.1 Poloha a rozměr stříhu

Provozní vlastnosti:

- Životnost: minimálně 5 let
- Údržba: minimální
- Ovladatelnost: jednoduchá

Ergonomické a ekologické vlastnosti:

- Vysoká stabilita (bezpečnost proti převržení)
- Bezpečnost proti poranění
- Možnost jednoduchého přenosu a upnutí ke stolu
- Jednoduché a bezpečné tvary

Předpisy a normy:

- Všeobecné bezpečnostní požadavky dle ČSN 22 6002
- Všeobecné technické požadavky dle ČSN 22 6004
- Dodržení hygienických norem

Výroba:

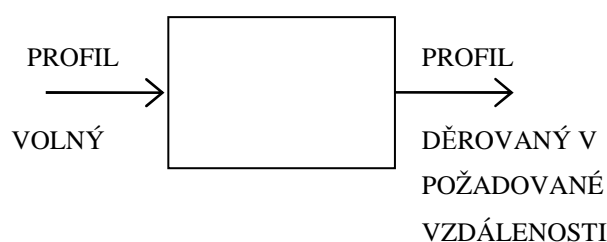
- Kusová výroba

3.2 Stanovení funkční struktury

V první části této kapitole uvádím sled technologického postupu, který daný technický systém bude splňovat (obr. 3.2). V druhé části se rozepisují na jednotlivé funkce technického systému (obr. 3.3).

3.2.1 Obecná forma blokového schéma technického procesu

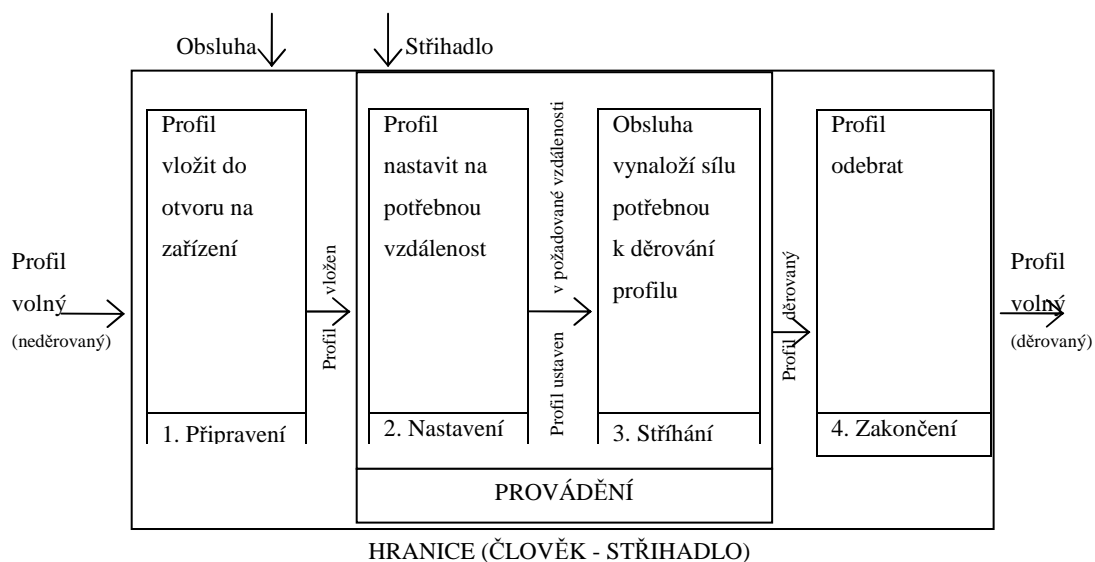
Černá skříňka



Technologie

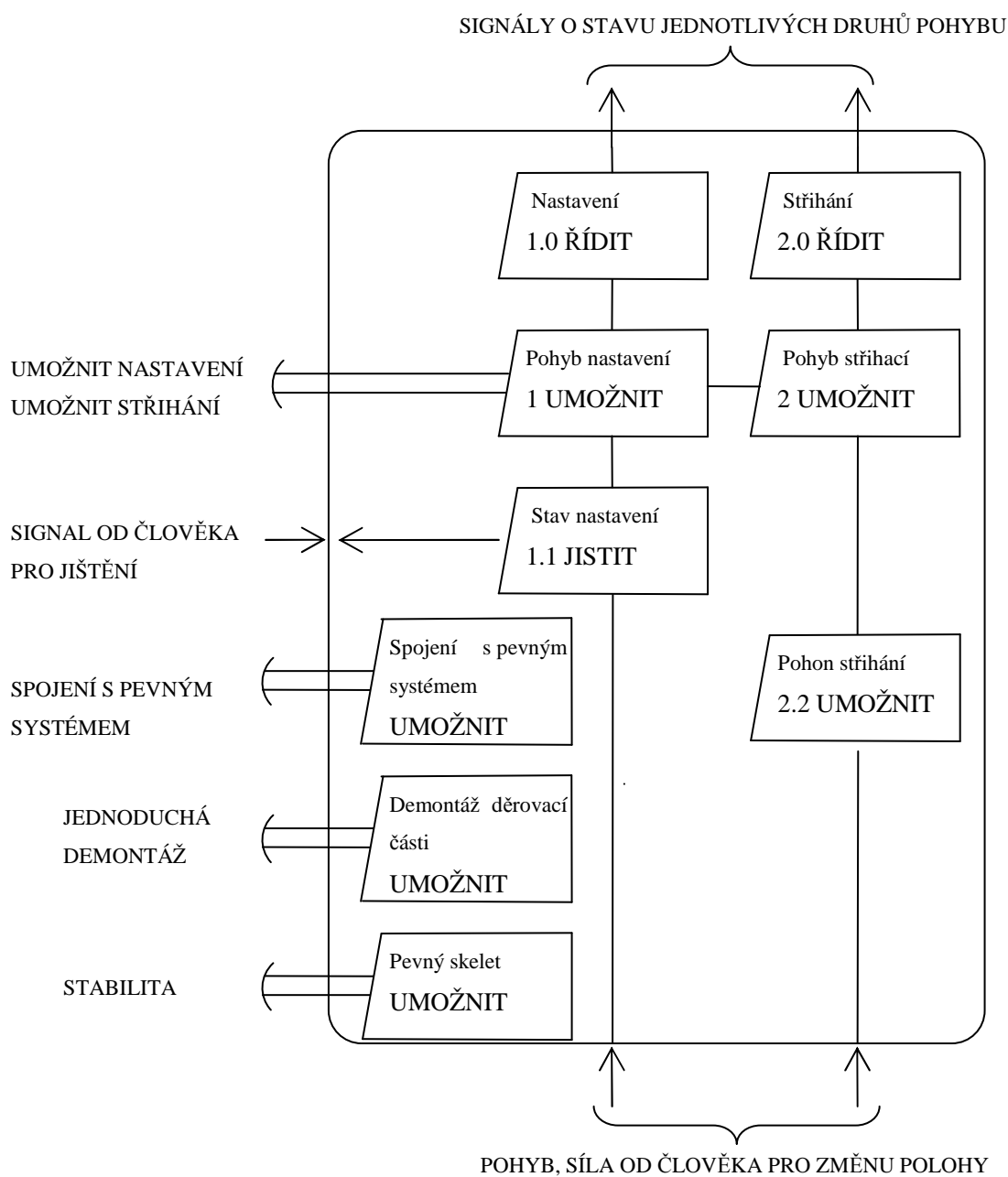
Profil se vloží do určeného otvoru na zařízení, kde si obsluha nastaví na potřebnou vzdálenost. Obsluha rukou pomocí páky vynaloží sílu potřebnou k prostříhu profilu.

Technický proces (pouze hlavní tok)



Obr. 3.2 Technický proces (blokové schéma)

3.2.2 Obecná forma blokového schéma funkční struktury




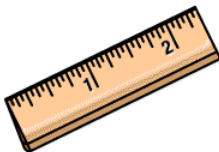


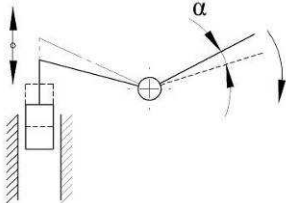
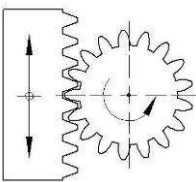
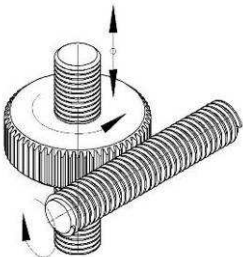
Obr. 3.3 Funkční struktura (blokové schéma)

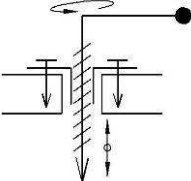
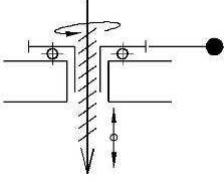
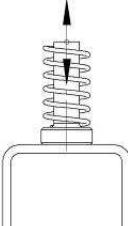
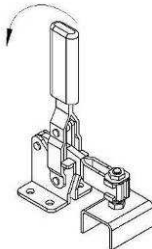





3.3 Stanovení orgánové struktury

V první části této kapitole rozkládám dané funkce na jednotlivé nositele funkcí. V druhé části kapitole jednotlivé nositele funkcí zhodnotím body dle kritérií a vyberu nejvhodnější řešení pro daný technický systém.

3.3.1 Stanovení morfologické matice

Tab. 3.1 Morfologická matice

Funkce		Funkční principy (nositele funkcí)		
1.0 2.0	Nastavení ŘÍDIT	Pohled 	Vizuálně Ryska 	Ukazatel na stupnici
	Stříhání ŘÍDIT	Pohled 	Vizuálně Snímač + kontrolka 	
1	Pohyb nastavení UMOŽNIT	Ruka	Upínací mechanismus + přepravní vozík	
2	Pohyb stříhání UMOŽNIT	Pákový mechanismus 	Ovládání boční Ozubený hřeben + pastorek 	Šnekové soukolí + šroub 

Funkce		Funkční principy (nositele funkcí)		
2		Ovládání horní		
		Šroub (posuvný) + matice (pevná) 	Šroub (posuvný) + matice (otočná) 	
1.1	Stav nastavení JISTIT	Ruka	Jištění mechanicky	
			Pružina 	Rychloupínač 
2.2	Pohon děrovací UMOŽNIT	Jednostranná páka	Oboustranná páka	Volant
				
	Spojení s pevným systémem UMOŽNIT	Zámečnická svěrka	Upínací mechanismus	Magnet
				
	Demontáž děrovací části UMOŽNIT	Pevné		Suvné + zajišťovací šroub
		Kolík	Šroub	
	Pevný skelet UMOŽNIT	Nerozebíratelný		Rozebíratelný
		Odlitek	Svařovaný	

3.3.2 Hodnocení jednotlivých možností

Měřítko hodnocení:

Vyhovuje velmi dobře4 body

Vyhovuje dobře 3 body

Vyhovuje uspokojivě 2 body

Postačuje 1 bod

Tab. 3.2 Hodnocení nastavení

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Přesnost	Údržba	Body
Nastavení	Pohled	Žádné 4	Žádné 4	Nízká 1	Žádná 4	13
	Ryska	Minimální 3	Jednoduché 3	Vyšší 2	Minimální 3	11
	Ukazatel	Vysoké 1	Složitě 2	Vysoká 4	Pravidelná 1	8

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.2 vybírám nastavení polohy pomocí pohledu. Toto řešení je nejjednodušší, ale může dojít k velké zmetkovitosti či nepřesnosti. Zde bude rozhodovat zkušenost a dovednost obsluhy při nastavování polohy.

O něco složitější řešení je umístění rysky. Tato ryska by se měla vyskytovat co nejbližší k prostřihovací části tak, aby nedocházelo k nepřesnostem vlivem obsluhy. Z hlediska bezpečnosti musí být děrovací část krytá a tím se zabrání přímé vizuální kontroly nastavení. Tento problém se dá vyřešit pomocí tzv. kukátka.

Nejsložitější řešení je nastavení polohy pomocí ukazatele. Aby nedocházelo k nepřesnostem se ukazatel (měřidlo) musí nechat v pravidelných intervalech kalibrovat. Kvůli své náročnosti se dále tímto řešením zabývat nebudu.

Tab. 3.3 Hodnocení stříhání

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Kontrola prostřihu	Body
Stříhání	Pohled	Žádné 4	Žádné 4	Žádná 1	9
	Snímač + kontrolka	Vysoké 1	Složité 1	Vysoká 3	5

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.3 vybírám kontrolu stříhání pomocí pohledu.

Zde bude rozhodovat zodpovědnost obsluhy při procesu stříhání.

Řešení kontroly stříhání pomocí snímače s kontrolkou je velmi náročné. Tyto komponenty pro svůj provoz musí být napájeny zdrojem. Dále jejich konstrukční řešení je složité a výrobně nákladné.

Tab. 3.4 Hodnocení pohybu nastavení

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Údržba	Fyzické prostředky	Body
Pohyb nastavení	Ruka	Žádné 4	Žádné 4	Žádná 4	Vysoké 1	13
	Upínací mechanismus + přepravní vozík	Vysoké 1	Složité 1	Minimální 2	Malé 4	8

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.4 vybírám možnost manipulace při nastavení pomocí ruky. Toto řešení je nejjednodušší. Nevyžaduje žádné konstrukční úpravu, ale obsluha musí disponovat nějakou fyzickou zdatností.

Složitější řešení je pomocí tzv. přepravního vozíčku. Tímto řešením se usnadní práce obsluhy při manipulaci a dále se vyřeší jištění polohy. Pro svojí náročnost se dále tímto řešením zabývat nebudu.

Tab. 3.5 Hodnocení pohybu stříhací

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Velikost zařízení	Rychlost přenosu	Přenos zatížení	Body
Pohyb stříhací	Pákový mechanismus	Malé 3	Jednoduché 3	Velké 1	Rychlé 4	Nízké 1	12
	Ozubený hřeben + pastorek	Vyšší 2	Přiměřené 2	Malé 4	Rychlé 3	Vyšší 3	14
	Šnekové soukolí + šroub	Vysoké 1	Složité 1	Malé 3	Velmi pomalé 1	Vysoké 4	10
	Šroub + matice	Malé 2	Jednoduché 2	Malé 4	Pomalé 2	Vysoké 3	13

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.5 vybírám mezi řešením ozubeného hřebene s pastorkem a šroubového mechanismu pro přenos lidské síly na sílu potřebnou k děrování. Tyto řešení jsou konstrukčně jednoduchá. Rozdíl nastává v rychlosti přenosu zatížení a tím i času stráveném obsluhou při děrování. U tohoto problému se přikláním k řešení pomocí ozubeného hřebene s pastorkem.

Nejjednodušší konstrukční řešení je přenos pomocí pákového mechanismu. Abych docílil potřebnou sílu, musí být mechanismus rozměrnější.

Tab. 3.6 Hodnocení stavu nastavení

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Údržba	Ustavení	Potřebné místo	Body
Stav nastavení	Ruka	Žádné 4	Žádné 4	Žádná 4	Žádné 1	Žádné 4	17
	Pružina	Vyšší 2	Jednoduché 2	Minimální 3	Dostačující 4	Malé 3	14
	Rychloupínač	Vysoké 1	Složité 2	Minimální 3	Dostačující 4	Velké 2	12

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.6 vybírám nejjednodušší řešení jištění nastavení pomocí přidržení ruky. Toto řešení nevyžaduje žádnou konstrukční úpravu, ale obsluha musí vyžadovat lepší obratnost při manipulaci se zařízením.

Další řešení jištění je pomocí pružiny. Toto řešení je vcelku řešitelné, ale pro kusovou výrobu zbytečně zvýší náklady. Střížník při pohybu dolů si sám zajistí přidržení profilu. Ohledně řešení pomocí rychloupínače se zabývat nebudu skrze náročnosti provedení.

Tab. 3.7 Hodnocení pohonu stříhacím

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Manipulace	Vynaložená síla	Body
Pohon stříhací	Jednostranná páka	Malé 4	Jednoduché 4	Malá 4	Velká 1	17
	Oboustranná páka	Malé 3	Jednoduché 4	Větší 2	Menší 3	14
	Volant	Vyšší 1	Přiměřené 3	Větší 2	Menší 3	12

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.7 vybírám mezi řešením jednostranné a oboustranné páky. Vzhledem k tomu že jednou rukou bude obsluha potřebovat k jištění nastavení, zbývá mi pouze druhá ruka k vynaložení síly potřebné k děrování. Z tohoto důvodu volím řešení pomocí jednostranné páky.

Tab. 3.8 Hodnocení spojení s pevným systémem

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Údržba	Ustavení	Body
Spojení s pevným systémem	Zámečnická svěrka	Malé 3	Žádné 4	Žádná 4	Dostačující 3	14
	Upínací mechanismus	Vysoké 1	Složité 2	Minimální 3	Přesné 4	10
	Magnet	Vyšší 2	Jednoduché 3	Minimální 3	Přesné 4	12

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.8 vybírám možnost uchycení k pevnému systému (stolu) pomocí zámečnické svěrky. Toto řešení je nejjednodušší a nevyžaduje to žádnou konstrukční úpravu.

K tomu abych řešil spojení pomocí magnetu musí být pevný systém (stůl) kovový, nebo aspoň jeho upínací část. Jinak magnet nesplňuje svojí funkci.

Ohledně řešení pomocí upínacího mechanismu se zabývat nebudu skrze náročnosti provedení.

Tab. 3.9 Hodnocení demontáže děrovací části

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Rychlost demontáže	Body
Demontáž děrovací části	Kolík	Malé 4	Jednoduché 4	Dostačující 4	12
	Šroub	Malé 4	Jednoduché 3	Pomalejší 3	10
	Suvně	Vyšší 2	Složité 2	Dostačující 4	8

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.9 vybírám spojení děrovací části se skeletem pomocí kolíku. Toto řešení je konstrukčně jednoduché a rychlost demontování je taky dostačující. Jediný problém bude dovednost obsluhy při demontování.

O něco složitější řešení je spojení pomocí šroubu. Toto řešení se provádí u velkých střížníku, proto se dále tímto zabývat nebudu.

Ohledně řešení suvněho uchycení se zabývat nebudu skrze náročnosti provedení.

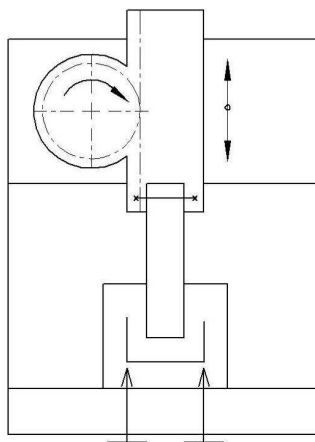
Tab. 3.10 Hodnocení pevného skeletu

Funkce	Funkční principy	Výrobní náklady	Konstrukční řešení	Stabilita	Hmotnost	Body
Pevný skelet	Odlitek	Vysoké 1	Jednoduché 4	Spolehlivá 4	Velká 1	10
	Svařovaný	Menší 4	Složité 2	Spolehlivá 4	Menší 3	13
	Rozebíratelný	Malé 3	Složité 3	Spolehlivá 4	Menší 3	13

Po vyhodnocení všech kritérií dle tab. 3.10 vybírám mezi řešením skeletu rozebíratelným a svařovaným. Při svařování dochází ke pnutí v materiálu a tím mohou nastat nepříjemné události, proto se přikláním k řešení rozebíratelného skeletu.

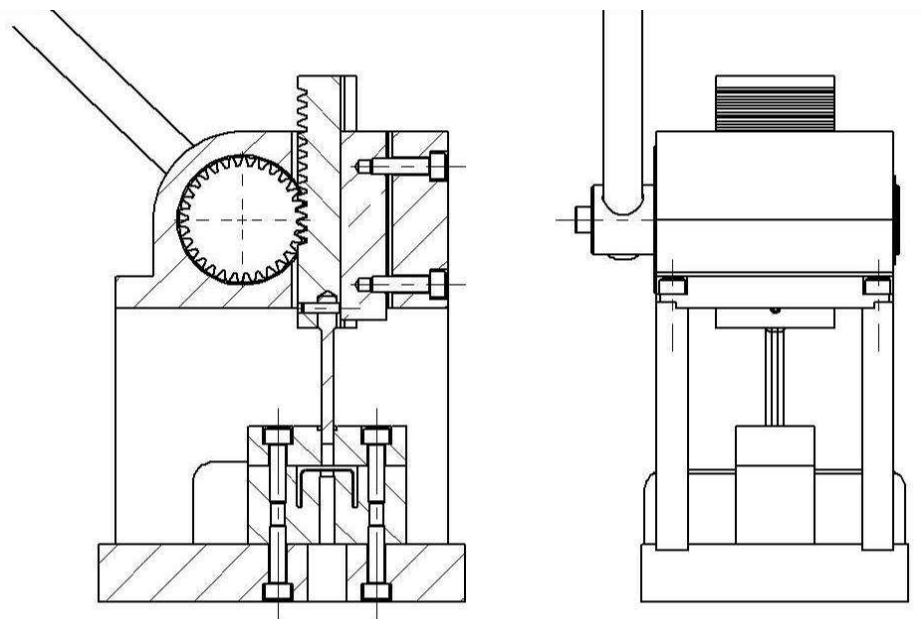
Ohledně řešení skeletu pomocí odlitku se zabývat nebudu skrze náročnosti provedení.

3.4 Stanovení hrubé stavební struktury



Obr. 3.4 Hrubá stavební struktura

3.5 Stanovení úplné stavební struktury



Obr. 3.5 Úplná stavební struktura

3.6 Detailování úplné stavební struktury

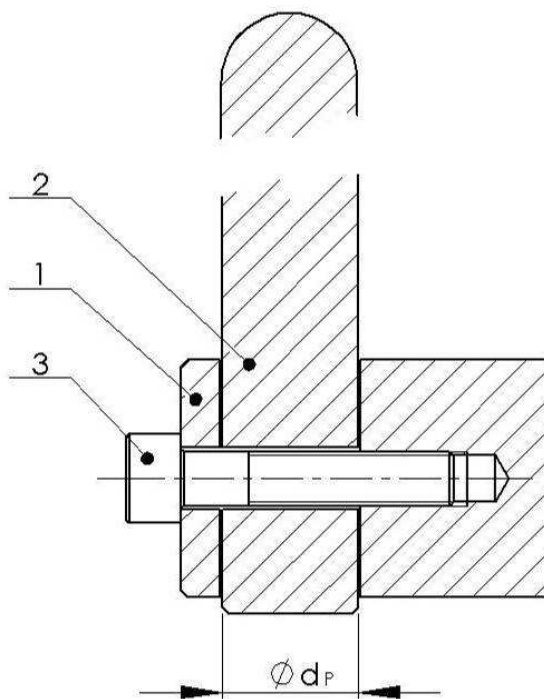
viz příloha

4. Provedení konstrukčního řešení

Ideový návrh dále konstrukčně řeším v následujících kapitolách. Jsou zde popsány a řešeny jednotlivé konstrukční prvky.

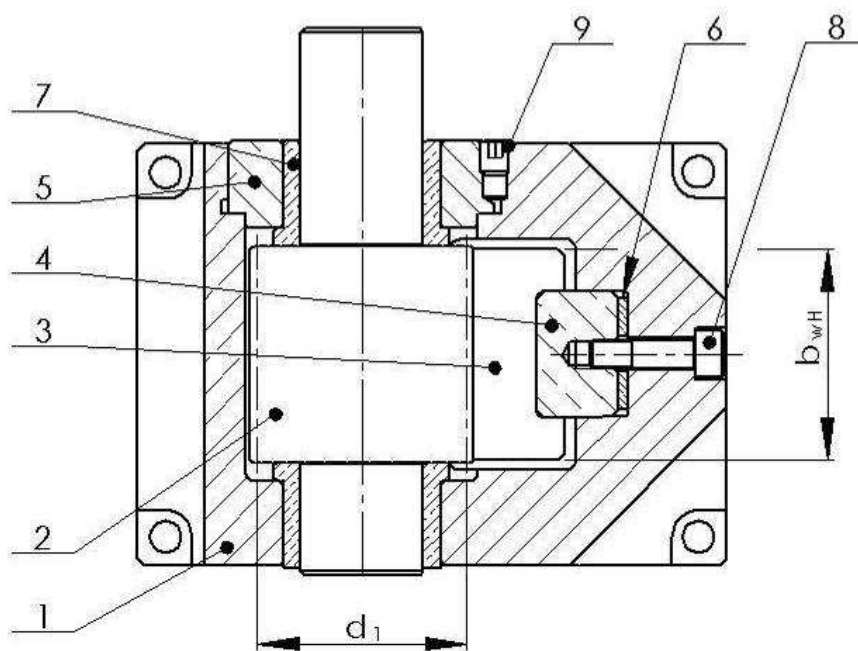
4.1 Uložení páky na pastorku

Uložení páky na pastorku je řešeno vložením páky do předem zhotovené průchozí díry na konci pastorku a zajištěno pomocí šroubu (obr. 4.1). Konec páky, kterým bude pracovat obsluha upravíme tak, aby se zamezilo možnosti vzniku úrazu při manipulaci.



Obr. 4.1 Schéma uložení páky na pastorku (1 – pastorek, 2 – páka, 3 – šroub)

4.2 Řešení převodového mechanismu



Obr. 4.2 Schéma převodového mechanismu (1 – domek, 2 – pastorek, 3 – hřeben, 4 – vedení, 5 – matice, 6 – plech vymešovavací, 7 – přírubové kluzné pouzdro, 8 – šroub , 9 – šroub stavěcí)

Řešení převodového mechanismu je následující (obr. 4.2). Na pastorek se nalisují z obou stran kluzné pouzdra od firmy SKF s označením PBMF 354530. Tyto pouzdra umožní dostatečný rotační pohyb pastorku v domku. Tato podsestava (pastorek s pouzdry) je vložena do domku a poloha je zajištěna pomocí matice. Utažení matice je pomocí utahovacího klíče od firmy BGS technik (obr. 4.3), který je opatřen dvěma hroty pro utažení matice.

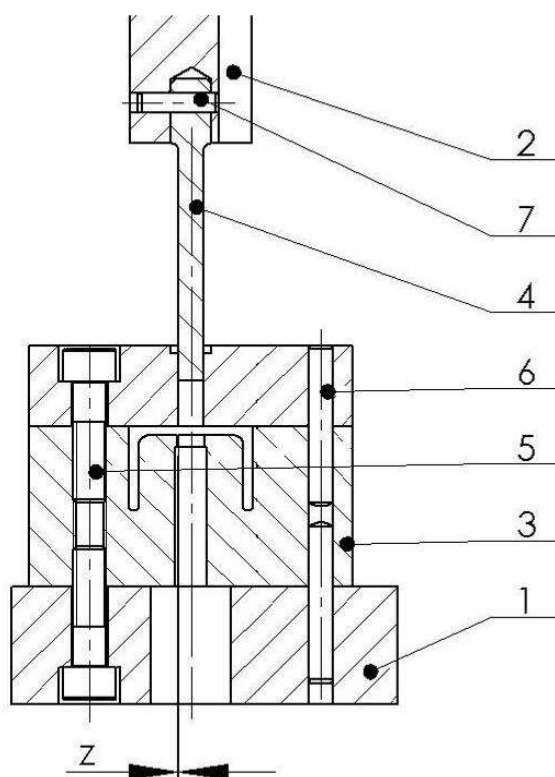


Obr. 4.3 Uťahovací klíč

Zajištění proti pootočení matice slouží šroub stavěcí, který se vyvrtá až po utažení matice v domku. Přesné vedení hřebene je navrženo pomocí kluzného vedení suvně vloženého do domku a zajištěno šrouby .

Pro vymezení radiální vůle mezi pastorkem a hřebenem je použitý plech vymezovací, který při montáži zbrousí na požadovaný rozměr nástrojář po odzkoušení převodového mechanismu.

4.3 Uložení střižné části



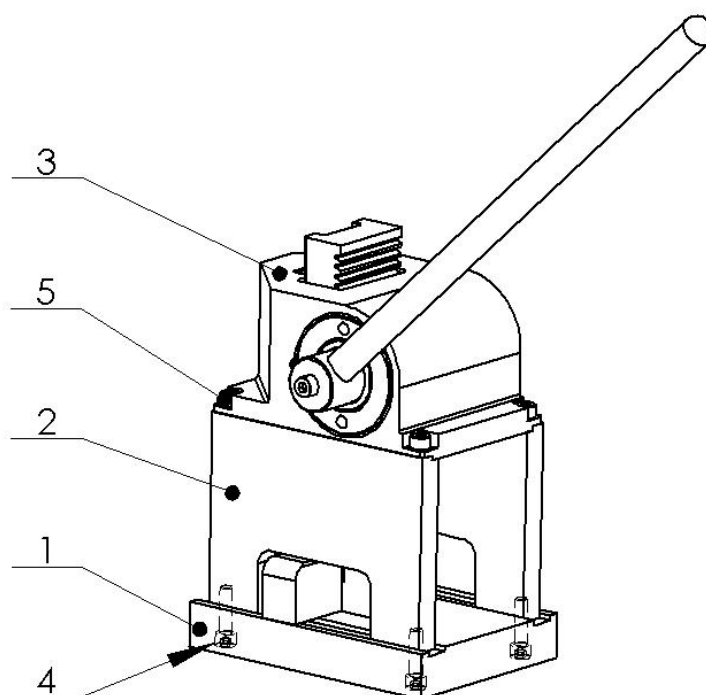
Obr. 4.4 Schéma střižné části (1 – základna, 2 – hřeben, 3 – kostka, 4 – střižník, 5 – šroub, 6 – kolík, 7 – kolík pružný)

Uložení střižné části je řešeno následovně (obr. 4.4). V hřebenu je vyvrtaná slepá přesná díra, kdy střižník se opře o dno a pohybem hřebene přenesou dostatečnou sílu potřebnou k prostřížení střižného polotovaru. Pro zajištění polohy při zpětném pohybu hřebenu slouží kolík pružný. Střižník je dále přesně veden v kostce. Proti zadření střižníku

v kostce slouží zahlobení zhotovené v horní části kostky k nanesení maziva v dostatečném množství.

Kostka je rozdělena na dvě části (vedení a střižnice) pro možnost broušení střižné hrany. Pro její možnost demontáže slouží šrouby a pro její přesné zajištění polohy zase slouží kolíky. To samé platí pro ustavení kostky na základně.

4.4 Řešení skeletu

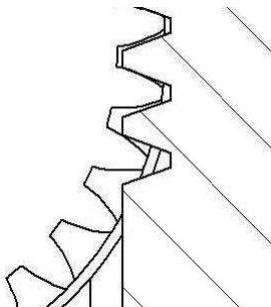


Obr. 4.5 Schéma skeletu (1 – základna, 2 – bočnice, 3 – domek, 4 – šroub M8 x 30, 5 – šroub M8 x 20)

Řešení skeletu je dle obr. 4.5. Na základně jsou zhotoveny přesné drážky pro uložení bočnic tak, aby bylo zamezeno možnému úhybu bočnic na stranu. Pro lepší ustanovení domku na bočnicích slouží jednostranné zahlobení. Základnu s bočnicemi a domkem je spojeno pomocí šroubu.

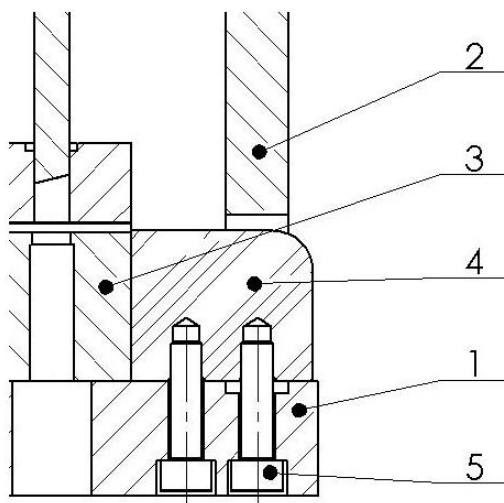
4.5 Doplnky

Tyto doplňky neplní žádnou významnou funkci zařízení, ale usnadňují práci se zařízením.



Obr. 4.6 Detail ozubení

Aby páka při zpětném pohybu byla pokaždé v přijatelné poloze pro možnost rychlého uchycení rukou a neležela na zemi, jsou v hřebenu vynechané zubové drážky, které při počátečním nastavením nástrojářem měly fungovat jako doraz. Zub pastorku nezajede do drážky hřebene a opře se o plochu a tím se zastaví v požadované poloze (obr. 4.6).



Obr. 4.7 Schéma dráhy (1 – základna, 2 – bočnice, 3 – kostka, 4 – dráha, 5 – šroub)

Pro snazší navedení normalizovaného profilu do kostky je před kostkou v obou směrech dráha (obr. 4.7). Na dráhu se položí profil a lehkým zasunutím po dráze zavedeme do kostky. Dráha je pevně spojena se základnou pomocí šroubu.

5. Provedení pevnostní kontroly namáhaných součástí

V této kapitole vyberu nejdůležitější části na zařízení, které jsou zapotřebí dimenzovat nebo provést kontrolu namáhání.

5.1 Dimenzování páky

Nejprve potřebuji zjistit možný krouticí moment přenášený pákou. Dále kontrolou na ohyb stanovím možný průměr páky pro přenos.

5.1.1 Přenášený krouticí moment pomocí páky

Nařízení vlády 361/2007 Sb., ustanovení § 29 udává hygienický limit pro hmotnost ručně manipulovaného břemene přenášeného mužem při častém zvedání a přenášením 30 kg. Tento limit si převedu na jednotku silového zatížení pro použití při výpočet.

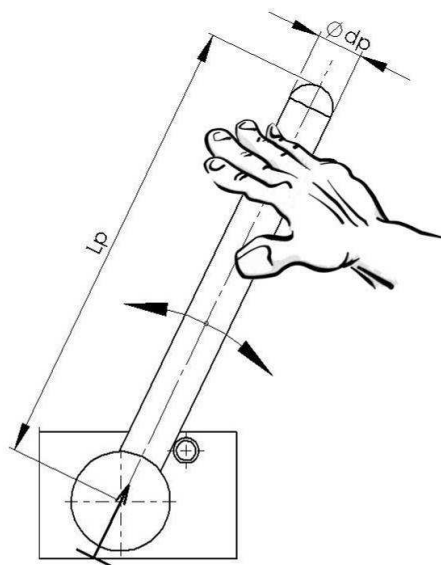
Působením síly na rameni páky je dán krouticí moment vztahem:

$$M_k = F \cdot L_p = 300 \cdot 0,45 = 135 \text{ Nm} . \quad (1)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$F = 300 \text{ N}$ podle zadání,

$L_p = 0,45 \text{ m}$ podle zadání.



Obr. 5.1 Schéma páky

5.1.2 Stanovení průměru páky

Průměr páky kruhového průměru d_p je dán vztahem z namáhání na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot L_p}{\frac{\pi}{32} \cdot d_p^3} \leq \sigma_{oD} \Rightarrow d_p \quad (2)$$

$$d_p \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F \cdot L_p}{\pi \cdot \sigma_{oD}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 300 \cdot 450}{\pi \cdot 185}} = 19,5 \text{ mm}$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$L_p = 450 \text{ mm}$ podle zadání,

$\sigma_{oD} [\text{MPa}]$ podle (3).

Dovolené napětí v ohybu je dané vztahem:

$$\sigma_{oD} = \frac{R_e}{k_s} = \frac{333}{1,8} = 185 \text{ MPa} . \quad (3)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$k_s = 1,8 [-]$ podle zadání ($k_s = 1,5$ až $2,0 [-]$),

$R_e = 333 \text{ MPa}$ podle [2, str.234], pro materiál 11 523.

Vypočtený průměr zaokrouhlím nejbližše výše dle zvoleného polotovaru tyče kruhové tažené za studena ČSN 42 6510. Podle literatury [2, str. 308] volím polotovar:

KR 20h11 ČSN 42 6510 – 11 523.0.

5.2 Ozubený převod

Z daného krouticího momentu a z literatury [3] stanovím průměr roztečné kružnice pastorku. To samé platí pro modul. Po určení roztečné kružnice a modulu jsem schopen stanovit další geometrické veličiny ozubeného soukolí. Dále z literatury [4] stanovím sílové působení ozubených kol na další díly. Nakonec je zjednodušený kontrolní výpočet.

5.2.1 Stanovení roztečné kružnice pastorku

Průměr roztečné kružnice pastorku je dán vztahem:

$$d_1 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_K}{(b_{wH} / d_1) \cdot \sigma_{HP}^2} \cdot \frac{u+1}{u}} = 770 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,53 \cdot 135}{1,4 \cdot 1016^2} \cdot \frac{1+1}{1}} = 50,7 \text{ mm} . \quad (4)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$f_H = 770$ [-]	pro přímé zuby,
K_H [-]	podle (5),
$(b_{wH} / d_1) = 1,4$ [-]	[3, část 4, tab. 2],
σ_{HP} [MPa]	podle (6),
$u = 1$	podle zadání.

Součinitel přidavných zatížení (pro výpočet na dotyk) je dán vztahem:

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,35 \cdot 1,13 = 1,53 [-] . \quad (5)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$K_A = 1,35$ [-]	[3, část 2, tab. 3 až tab. 5], s malou nerovnoměrností,
$K_{H\beta} = 1,13$ [-]	[3, část 4, obr. 1].

Přípustné napětí v dotyku (přípustný Hertzův tlak) je dáno vztahem:

$$\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{H \lim} = 0,8 \cdot 1\,270 = 1\,016 \text{ MPa} . \quad (6)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$\sigma_{H \lim} = 1\,270 \text{ MPa} \quad [2, \text{ str. 586}], \text{ pro materiál 14 220.}$$

Pro další výpočet zaokrouhlují průměr roztečné kružnice pastorku na $d_1 = 60 \text{ mm}$.

5.2.2 Stanovení odhadovaného modulu

Výpočet je dán vztahem:

$$m_n = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot M_K}{(b_{wF} / m_n) \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}}} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,53 \cdot 135}{50 \cdot 30 \cdot 420}} = 1,24 \text{ mm} . \quad (7)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$f_F = 18 \text{ [-]} \quad \text{pro kalená ozubená kola,}$$

$$K_F \text{ [-]} \quad \text{podle (8),}$$

$$(b_{wF} / m_n) = 50 \text{ [-]} \quad [3, \text{ část 4, tab. 2}],$$

$$z_1 = 30 \quad \text{podle zadání,}$$

$$\sigma_F \text{ [MPa]} \quad \text{podle (9).}$$

Součinitel přidavných zatížení (pro výpočet na ohyb) je dán vztahem:

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,35 \cdot 1,13 = 1,53 \text{ [-]} . \quad (8)$$

Ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu je dán vztahem:

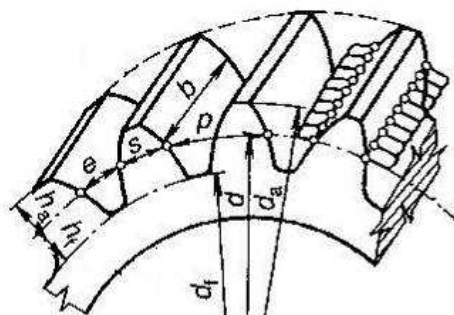
$$\sigma_{FP} = 0,6 \cdot \sigma_{F \lim} = 0,6 \cdot 700 = 420 \text{ MPa} . \quad (9)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$\sigma_{F \lim} = 700 \text{ MPa} \quad [2, \text{ str. 586}], \text{ pro materiál 14 220.}$$

Dle výpočtu stanovují nejbližší vyšší normální modul dle ČSN 01 4608 $m_n = 2 \text{ mm}$.

5.2.3 Hlavní geometrické veličiny ozubeného soukolí



Obr. 5.2 Schéma ozubeného kola

Tab. 5.1 Geometrické veličiny čelních kol a soukolí s přímými zuby

Skupina	Název	Soukolí N
Základní údaje	Převodové číslo	$u = 1$
	Úhel profilu	$\alpha = 20^\circ$
	Úhel sklonu zubů	$\beta = 0^\circ$
	Modul	$m = 2 \text{ mm}$
	Počet zubů	$z_1 = 30$
Parametry kol	Rozteč	$p = \pi \cdot m = 6,28 \text{ mm}$
	Základní rozteč	$p_b = p \cdot \cos \alpha = 5,9 \text{ mm}$
	Hlavová vůle	$c_a = 0,25 \cdot m = 0,5 \text{ mm}$
	Výška hlavy zubu	$h_a = m = 2 \text{ mm}$
	Výška paty zubu	$h_f = m + c_a = 2,5 \text{ mm}$
	Výška zubu	$h = h_a + h_f = 4,5 \text{ mm}$
	Průměr roztečné kružnice	$d_1 = z_1 \cdot m = 60 \text{ mm}$
	Průměr základní kružnice	$d_b = d_1 \cdot \cos \alpha = 56,4 \text{ mm}$
	Průměr hlavové kružnice	$d_a = d_1 + 2 \cdot h_a = 64 \text{ mm}$
	Průměr patní kružnice	$d_f = d_1 - 2 \cdot h_f = 56 \text{ mm}$

Skupina	Název	Soukolí N
Parametry soukolí	Součet jednotkového posunutí	$x_1 = x_2 - x_\Sigma = 0$
	Součinitel záběru profilu	$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{d_a^2 - d_b^2} - a \cdot \sin \alpha}{p_b} = 1,65$
	Součinitel záběru kroku	$\varepsilon_\beta = \frac{b_{wH} \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m} = 0$

5.2.4 Silové poměry

Pro výpočet sílového působení ozubených kol na další díly a pro pevnostní výpočet zubů je zjednodušený vztah [4] obvodové (tečné) síly dány:

$$F_t = \frac{2\,000 \cdot M_K}{d_1} = \frac{2\,000 \cdot 135}{60} = 4,5 \text{ kN} . \quad (10)$$

Obvodová síla je vždy v rovnováze s krouticím momentem, jehož smysl určuje smysl obvodové síly. Radiální síla působí vždy ve směru k ose kola a je daná vztahem [4]:

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 4,5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 1,64 \text{ kN} . \quad (11)$$

5.2.5 Zjednodušený kontrolní výpočet únavy v dotyku

Aby na bocích zubů nedošlo k progresivní tvorbě pittingů, musí být splněna podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_H &= \sigma_{HO} \cdot \sqrt{K_H} \leq \sigma_{HP} \\ \sigma_H &= 661 \cdot \sqrt{1,83} \leq 977 . \end{aligned} \quad (12)$$

$$894,2 \leq 977$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

σ_{HO} [MPa] podle (13),

K_H [-] podle (14),

σ_{HP} [MPa] podle (15).

Napětí v dotyku při ideálním zatížení přesných zubů je dáno vztahem:

$$\sigma_{HO} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{wH} \cdot d_1} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad (13)$$

$$\sigma_{HO} = 190 \cdot 2,5 \cdot 0,88 \cdot \sqrt{\frac{4\,500}{60 \cdot 60} \cdot \frac{1+1}{1}} = 661 \text{ MPa}$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$Z_E = 190$ [-] [2, str. 579], pro ocel,

$Z_H = 2,5$ [-] [2, str. 579],

$Z_\varepsilon = 0,88$ [-] [2, str. 580],

$b_{wH} = 60$ mm podle zadání.

Součinitel přídatných sil je dán vztahem:

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{Hv} = 1,35 \cdot 1,13 \cdot 1,2 = 1,83 [-]. \quad (14)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$K_{H\alpha}$ [-] podle (15),

K_{Hv} [-] podle (15).

Pro předchozí součinitele se zjednodušeně předpokládá vztah:

$$K_{H\alpha} \cdot K_{Hv} = 1,2 [-]. \quad (15)$$

Přípustné napětí v dotyku je dáno vztahem:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim} \cdot Z_R}{S_{H \min}} = \frac{1\,270 \cdot 1}{1,3} = 977 \text{ MPa}. \quad (16)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$Z_R = 1$ [-] pro broušené boky zubů,

$S_{H \min} = 1,3$ [-] podle zadání.

5.2.6 Zjednodušený kontrolní výpočet trvalé deformace nebo křehkého lomu povrchové vrstvy boku zubu jednorázovým působením největšího zatížení

Aby jednorázovým působením největšího zatížení nedošlo k trvalé deformaci nebo ke křehkému lomu povrchové vrstvy boku zubu, musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{H \max} = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{\frac{F_{t1} \cdot K_H}{F_t}} \leq \sigma_{HP \max}$$

$$\sigma_{H \max} = 661 \cdot \sqrt{\frac{6\,300 \cdot 1,83}{4\,500}} \leq 2\,600 . \quad (17)$$

$$1\,058 \leq 2\,600$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

F_{t1} [N] podle (18),

$\sigma_{HP \max}$ [MPa] podle (19).

Obvodová síla působící v čelním řezu na roztečné kružnici, odpovídající 1. stupni zatížení je dána vztahem:

$$F_{t1} = F_t \cdot K_{AS} = 4,5 \cdot 1,4 = 6,3 \text{ kN} . \quad (18)$$

Přičemž K_{AS} se odhadne na základě zkušenosti a je vždy $K_{AS} \geq K_A = 1,4 [-]$.

Přípustné napětí v dotyku při největším zatížení pro ozubená kola cementovaná je dán vztah:

$$\sigma_{HP \max} = 4 \cdot V_{HV} = 4 \cdot 650 = 2\,600 \text{ MPa} . \quad (19)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$V_{HV} = 650 \text{ HV}$ [2, str. 586], pro materiál 14 220.

5.2.7 Zjednodušený kontrolní výpočet únavy v ohybu

Aby nedošlo k únavovému lomu v oblasti paty zubu, musí být splněna podmínka:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_{wF} \cdot m_n} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq \sigma_{FP}$$
$$\sigma_F = \frac{4\,500}{64 \cdot 2} \cdot 1,83 \cdot 3,85 \cdot 1 \cdot 0,7 \leq 500.$$
$$173,4 \leq 500$$
(20)

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

b_{wF} [mm]	podle (21),
K_F [-]	podle (22),
$Y_{FS} = 3,85$ [-]	[2, str. 589],
$Y_\beta = 1$ [-]	[2, str. 590],
Y_ε [-]	podle (24),
σ_{FP} [MPa]	podle (25).

Pracovní (aktivní) šířka ozubení pro výpočet na ohyb je dána vztahem:

$$b_{wF} = b_{wH} + 2 \cdot m_n = 60 + 2 \cdot 2 = 64 \text{ mm}.$$
(21)

Pro tento případ je součinitel přídavných zatížení dán vztahem:

$$K_F = K_A \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{Fv} = 1,35 \cdot 1,13 \cdot 1,2 = 1,83 [-].$$
(22)

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$K_{F\beta} = 1,13$ [-]	podle vztahu $K_{F\beta} \approx K_{H\beta}$,
$K_{F\alpha}$ [-]	podle (23),
K_{Fv} [-]	podle (23).

Součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů se přibližně volí podle Pro další součinitele se zjednodušeně předpokládá vztah:

$$K_{F\alpha} \cdot K_{Fv} = 1,2 [-].$$
(23)

Součinitel vlivu záběru profilu pro $\varepsilon_\beta < 1,0$ je dán vztah:

$$Y_\varepsilon = 0,2 + \frac{0,8}{\varepsilon_\alpha} = 0,2 + \frac{0,8}{1,65} = 0,7 [-]. \quad (24)$$

Přípustné napětí v ohybu je dáno vztahem:

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F \lim}}{S_{F \min}} = \frac{700}{1,4} = 500 \text{ MPa}. \quad (25)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$S_{F \lim} = 1,4 [-] \quad \text{podle zadání.}$$

5.2.8 Zjednodušený kontrolní výpočet trvalé deformace či vzniku počátečních trhlin v oblasti paty zubu, nebo křehkého lomu zubu jednorázovým působením největšího zatížení

Aby jednorázovým působením největšího zatížení nedošlo k trvalé deformaci či vzniku počátečních trhlin v oblasti paty zubu, nebo ke křehkému lomu zubu, musí být splněna podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_{F \max} &= \sigma_F \cdot \frac{F_{t1}}{F_t} \leq \sigma_{FP \max} \\ \sigma_{F \max} &= 173,4 \cdot \frac{6\,300}{4\,500} \leq 1\,400. \\ 243 &\leq 1\,400 \end{aligned} \quad (26)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$\sigma_{FP \max} [-] \quad \text{podle (27).}$$

Přípustné napětí v ohybu při největším zatížení je dáno vztahem:

$$\sigma_{FP \max} = 0,8 \cdot \sigma_{FSt} = 0,8 \cdot 1\,750 = 1\,400 \text{ MPa}. \quad (27)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$$\sigma_{FSt} [-] \quad \text{podle (28).}$$

Pevnost v ohybu při největším zatížení pro cementované oceli je daná vztahem:

$$\sigma_{FSt} = 2,5 \cdot \sigma_{F \lim} = 2,5 \cdot 700 = 1\,750 \text{ MPa}. \quad (28)$$

5.3 Stříhání

Z literatury [5] stanovím střížnou sílu potřebnou k prostřížení materiálu a střížnou vůli.

5.3.1 Stanovení střížné síly

Maximální střížná síla je daná vztahem:

$$F_{\max} = S \cdot R_{ms} \cdot k = 50 \cdot 320 \cdot 1,3 = 20,8 \text{ kN} . \quad (29)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

S [mm^2] podle (30),

R_{ms} [MPa] podle (31),

$k = 1,3$ [-] podle zadání ($k_s = 1,25$ až $1,5$ [-]).

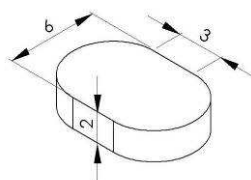
Střížná plocha je daná vztahem:

$$S = L \cdot s = 25 \cdot 2 = 50 \text{ mm}^2 . \quad (30)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$L = 25 \text{ mm}$ podle obr. 5.3,

$s = 2 \text{ mm}$ podle obr. 5.3.



Obr. 5.3 Schéma stříhané plochy

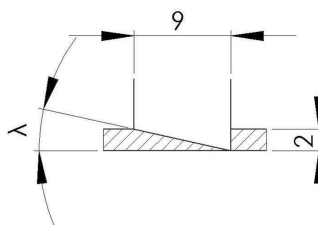
Pevnost ve stříhu lze vypočítat ze známe meze pevnosti stříhaného materiálu R_m podle vztahu:

$$R_{ms} = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ MPa} . \quad (31)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$R_m = 400 \text{ MPa}$ podle [2], pro materiál 11 375.

Protože maximální střížná síla je větší než obvodová síla vyvozená převodem je třeba střížnou sílu snížit tak, aby stříhány materiál nebyl stříhán v celé šířce najednou, ale postupně. Střížník je skloněn pod úhlem $\lambda = 12,5^\circ$ (obr. 5.4).



Obr. 5.4 Sklonění střížníku

Střížnou sílu pro stříh skloněným nožem je daná vztahem:

$$F_{skl} = 0,4 \cdot \frac{s^2 \cdot R_{ms}}{\operatorname{tg} \lambda} = 0,4 \cdot \frac{2^2 \cdot 320}{\operatorname{tg} 12,5^\circ} = 2,3 \text{ kN} . \quad (32)$$

Sílu potřebnou k prostříhu stříhaného materiálu je $F_{skl} = 2,3 \text{ kN}$.

5.3.2 Stanovení střížné vůle

Velikost střížné vůle pro tenké plechy je dán vztahem:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} = 0,035 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 320} = 0,4 \text{ mm} . \quad (33)$$

Stanovení jednotlivých veličin jsem určil takto:

$c = 0,035$ [-] podle zadání ($c = 0,005$ až $0,035$ [-]).

6. Zpracování sestavného výkresu včetně kusovníku a výrobních výkresu

viz příloha

7. Závěr

Tato práce zahrnuje jednoduché konstrukční řešení zařízení pro děrování profilu. Jednoduchá stavba skeletu zaručuje stabilitu zařízení při provozu. Malé rozměry a hmotnost splňují snadné přenesení (mobilitu) zařízení. Zařízení je ovládáno pouze lidskou silou působící na páku. Tvrzeným povrchem materiálu ozubeného soukolí je zaručena dlouhá životnost. Nemá žádné velké nároky na údržbu a práce se zařízením pro obsluhu je snadná.

Za zmínku lze vyzvednout jednoduchou technologičnost konstrukce zařízení, konstrukční provedení zajištění polohy páky a uložení ozubeného soukolí. Dále je možné jiné využití zařízení. Třeba jako lis, nebo může děrovat jiný tvar (díru) či jiný profil po záměně střížné části.

Použitá literatura

- [1] HUBKA, V.: *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. 2. vyd. Heurista, 1995, IBN 80-990 1135-08.
- [2] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 4. vyd. ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2008, IBN 978-80-7361-051-7.
- [3] ČSN 01 4686.: *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol*. Praha: Český normalizační institut, 1989.
- [4] MORAVEC, V.: *Konstrukce strojů a zařízení II*. MONTANEX a.s., 2001, IBN 80-7225-051-5.
- [5] ČADA, R.: *Technologie I. Část tváření a slévání*. Skriptum VŠB Ostrava, Ostrava, 2007.